DOI: 10.5846/stxb201603180488
艾科拜尔·木哈塔尔,热木图拉·阿卜杜克热木,马合木提·哈力克.基于生态位模型的艾比湖国家级自然保护区马鹿生境评价.生态学报,2017,37(11):3919-3925.
Akbar Muhtar,Rahmutulla Abdukerim,Mahmut Halik. Assessing habitat suitability for *Cervuselaphus* in the Ebinur Lake National Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica,2017,37(11):3919-3925.

基于生态位模型的艾比湖国家级自然保护区马鹿生境评价

艾科拜尔·木哈塔尔,热木图拉·阿卜杜克热木,马合木提·哈力克*
新疆大学生命科学与技术学院,资源生物研究所,乌鲁木齐 830046

摘要:生境评价和预测是对濒危物种进行有效保护的基础。通过 2013 年 9 月和 2014 年 10 月对新疆艾比湖国家级自然保护区开展 2 次秋季野外调查共收集了 92 处马鹿(*Cervuselaphus*)出现数据,利用马鹿出现数据作为分布点数据,选取地形、植被类型和气候因子 3 类 23 种因子作为生境变量,利用 MAXENT 生态位模型分析了新疆艾比湖国家级自然保护区马鹿秋季生境适宜性分布特征和主要生境因子对马鹿分布的影响。结果表明:模型预测结果较高,平均 AUC (area under the curve,受试工作者曲线下面值)值为 0.976;Jackknife 检验结果显示:最热月最高温度对马鹿生境分布的影响较大。植被类型和坡度对马鹿生境分布的影响不大。海拔、年降雨量、气温日较差和最热季平均温度是影响马鹿生境分布的主要生境因子。马鹿秋季生境划分为高适宜、次适宜、低适宜和不适宜 4 个等级,马鹿的高适宜生境区主要分布在研究区域的北部,次适宜及低适宜生境区则分布于高适宜生境区的边缘,而不适宜生境区主要集中在西部和东部地区。研究不仅提供了马鹿在艾比湖的实际分布状况,也为马鹿生境和生境因子的关系方面提供了一个重要的科学依据。

关键词:马鹿;生态位模型;生境适宜性;Jackknife 检验

Assessing habitat suitability for *Cervuselaphus* in the Ebinur Lake National Nature Reserve

Akbar Muhtar,Rahmutulla Abdukerim,Mahmut Halik*
College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, *China*

Abstract: Habitat assessing and prediction is important when attempting to protect endangered species. In the Ebinur Lake National Nature Reserve, Xinjiang, A total of 92 recorded GPS coordinates showed that *Cervuselaphus* was present in the reserve in September 2013 and October 2014. We grouped 23 habitat predictor variables into three classes—terrain, vegetation structure, and climatic factors. We used the MAXENT model to predict the potentially suitable autumn habitat distribution for *C. elaphus* and determined the contribution each habitat factor made to the distribution characteristics. The accuracy of our prediction models was accessed by the area under the curve (AUC) values for a receiver operating characteristic (ROC) curve, and the validation showed that the results had high average AUC of 0.976. The results of a Jackknife test indicated that the maximum temperature in the warmest month had the strongest influence on autumn *C. elaphus* habitat suitability, followed by altitude, annual precipitation, mean diurnal range, and mean temperature during the warmest quarter. Vegetation type and slope had little effect on habitat distribution. The simulated habitat was divided

基金项目:国家自然科学基金项目(31360266,31560600);新疆大学自治区重点学科资助项目(动物学科);中华人民共和国全球环境基金艾比湖流域可持续管理与生物多样性保护项目(zx-3-1)
收稿日期:2016-03-18; **网络出版日期**:2017-02-22

*通讯作者 Corresponding author.E-mail: mahmuthalik@ xju.edu.cn

into four classes—the most suitable habitat, moderate suitability habitat, low suitability habitat, and unsuitable habitat. The most suitable habitats for *C. elaphus* were mainly distributed in the northern parts of the study area, and habitats with moderate and low suitability were in the marginal areas of the most suitable habitats. In contrast, the western and eastern parts of the study area were classified as unsuitable habitats for *C. elaphus*. This study provides information on the actual distribution of *C. elaphus* in the Ebinur Lake National Nature Reserve and identifies important indicators that could be investigated by future studieson this species and its habitat.

Key Words: *Cervuselaphus*; niche model; habitat suitability; Jackknife test

物种保护不但要维持种群数量,还要保护种群的生存环境,而了解物种种群的分布状况是保护其生存环境的关键前提和基础[1]。生境为野生动物提供了生存、繁衍及种群发展所必须的资源[2],生境适宜度时是指生境能支持一个特定物种的潜在能力[3],是影响野生动物生存和发展的重要因素,对物种进行生境评价是对野生动物进行有效保护和管理的第一步[4]。

马鹿(*Cervuselaphus*)属于哺乳纲、偶蹄目、反刍亚目、鹿科、鹿亚科、鹿属[5],是国家Ⅱ级保护动物。在中国主要分布于东北林区、宁夏贺兰山、新疆北部、甘肃、青海、四川和西藏等地[6]。马鹿在中国尚有一定数量,在黑龙江和吉林可能有近 10 万只,但由于过量捕猎幼仔和生境的丧失,也逐渐产生危机。新疆是我国马鹿的重要分布区,有 3 个亚种:阿勒泰马鹿(*C. e. sibiricus*)、天山马鹿(*C. e. songaricus*)和塔里木马鹿(*C. e. yarkandensis*)。塔里木的野生种群已经由 1.5 万只下降到 4000—5000 只;阿尔泰马鹿由 20 世纪 70 年代的 10 万只下降到 4 万只左右;野生天山马鹿则正以 3000 只/a 左右的速度锐减[7-10]。由于长期的乱捕滥猎和生境破坏导致马鹿种群数量急剧下降,分布区也逐渐缩减。而对保护物种生境的研究,明确其主要影响因子和分布,是分析物种种群数量减少、濒危原因的重要手段,同事也能为制定合理的保护对策提供依据[11]。

近年来 MAXENT 生态位模型在国内外得到广泛应用,ISI Web of Science 数据库检索结果表明:MAXENT 生态位模型进行预测研究的文献数和每年的引文数逐年递增[12]。有研究显示,在预测物种潜在分布区时,与同类的物种分布模型(species distribution models, SDMs)相比,MAXENT 生态位模型表现出较好的预测能力[12]。在预测濒危物种分布时也有明显的优势,如 Pena 等[13]利用 3 种生态位模型评估了巴西北部濒危鸟类地理分布,结果表明 MAXENT 模型的预测精度最高;齐增湘等[14]利用 MAXENT 模型预测秦岭山系黑熊(*Ursusthibetanus*)的生境适宜性,结果显示模型精度达到 0.991。徐卫华等[15]采用 MAXENT 模型,对秦岭地区的川金丝猴(*Rhinopithecusroxllanae*)的生境进行评价,结果显示模型预测结果为 0.979。本文应用 MAXENT 模型对艾比湖马鹿生境适宜性进行评价,分析影响马鹿生存的主要生境因子并模拟其空间分布区域。

1 研究区域概况

艾比湖位于天山北侧新疆西部,博尔塔拉蒙古族自治州境内,在行政区划分上地跨博尔塔拉蒙古自治州精河县、博乐市和阿拉山口口岸区,总面积 2670.85 km^2。艾比湖为准噶尔盆地最低洼地,也是新疆仅次于吐鲁番艾丁湖的第二低点,湖面海拔 189 m。年平均气温 6—8℃,年均降水量 90.9 mm,年蒸发量 3790 mm,年平均大风天数达 165 d。区内典型的地带性土壤为灰漠土、灰棕土和风沙土。艾比湖湖底平坦,属浅水湖;目前平均水深 1.4 m,最深 3 m。保护区内目前的各种脊椎动物有 167 种,其中两栖动物 1 目 2 科 4 种(蟾蜍科、蛙科),爬行动物 2 目 6 科 7 属 10 种,哺乳动物 6 目 12 科 32 种,鸟类有 16 目 28 科 111 种,鱼类 2 科 10 种。野生维管植物 131 科 755 属 3552 种,种子植物 53 科 191 属[16]。

2 研究方法

2.1 模型介绍

最大熵原理(MAXENT)起源于信息科学,1957 年最早由 Jaynes 提出,在许多学科中有广泛应用,近年来

引起了生态学家们的关注[12]。MAXENT 是一种基于生态位原理的模型,根据物种“出现点”(出现马鹿粪便、食迹、足迹、卧迹等位置进行定点记录的数据)的生境变量特征得出约束条件,探寻此约束条件下最大熵的可能分布,以此来预测目标物种在研究地区的生境分布[17]。2004 年,Phillips 等人开发了 MAXENT 软件,近来广泛用于物种生境适宜区的预测和评价,表现出了良好的预测能力[18]。该模型提供了自检验功能,可以自动生成 ROC 曲线进行模型的模拟预测自检,且在对动物生境进行评价与预测时,只需动物“出现点”的数据,并且具有较高的精度[19-21]。

2.2　数据来源与处理

2.2.1　马鹿分布点数据

马鹿分布点数据来源于 2013 年 9 月和 2014 年 10 月通过走访当地居民和向导对新疆艾比湖国家级自然保护区开展 2 次秋季野外巡逻和检测以及艾比湖国家级自然保护区管理站的野外检测,用 GPS 对所观察到的马鹿实体或马鹿出现点位置进行定点记录,在艾比湖与马鹿同域分布的有蹄类还有鹅喉羚(*Gazellasubgutturosa*),可根据体型大小和形态特征对它们进行区分,第一次和第二次野外检测中分别得到了 55 和 37 处马鹿出现点,共得到了 92 处包含经纬度的马鹿出现点(包括粪便、足迹、食迹、卧迹等)(图 1)。

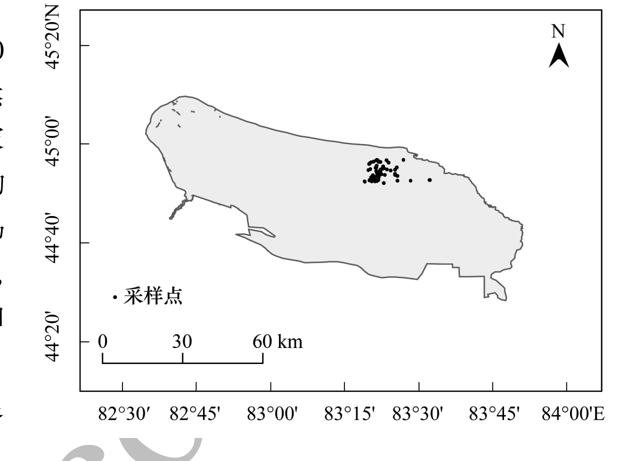


图 1　艾比湖马鹿出现点分布图

Fig.1　Species occurrence date

2.2.2　生境变量数据

(1)气候因子。

从世界气象数据库(http://www.worldclim.org/)中下载全球 19 个生物气候因子的 1 km^2分辨率的栅格文件 1950 年至 2000 年的平均值,然后用 ArcGIS10.1 软件来提取艾比湖区域的气候变量作为模型预测的生境变量(表 1)。

表 1　19 个生物气候变量

Table 1　Bio climatic variables

变量代号 Code of variables	变量名称 Names of variables
BIO1	年均温 Annual Mean Temperature
BIO2	气温日较差 Mean Diurnal Range,Mean of monthly (max temp-min temp)
BIO3	等温性 Isothermal P2/P7 * 100
BIO4	温度季节性变动率 Temperature Seasonality,Standard deviation * 100
BIO5	最热月最高温度 Max Temperature of Warmest Month
BIO6	最冷月最低温度 Min Temperature of Coldest Month
BIO7	年温度变化范围 Temperature Annual Range (P5—P6)
BIO8	最湿季平均温度 Mean Temperature of Wettest Quarter
BIO9	最干季平均温度 Mean Temperature of Driest Quarter
BIO10	最热季平均温度 Mean Temperature of Warmest Quarter
BIO11	最冷季平均温度 Mean Temperature of Coldest Quarter
BIO12	年降雨量 Annual Precipitation
BIO13	最湿月降水量 Precipitation of Wettest Month
BIO14	最干月降水量 Precipitation of Driest Month
BIO15	降雨量季节性变化 Precipitation of Seasonality,Coefficient of Variation
BIO16	最湿季降水量 Precipitation of Wettest Quarter
BIO17	最干季降水量 Precipitation of Driest Quarter
BIO18	最热季降水量 Precipitation of Warmest Quarter
BIO19	最冷季降水量 Precipitation of Coldest Quarter

(2)地形因子。

地形选取 3 个因子,包括海拔(altitude)、坡度(slope)和坡向(aspect)。采用来源于中国科学院科学数据库分辨率 30m×30m 的数字高程地图(DEM)数据,在 ArcGIS10.1 中进行空间分析获得。

(3)植被数据。

先从谷歌剪切器下载艾比湖地区的地形图,然后通过目视解析法做出植被分布图,把艾比湖地区的植被类型分为泡泡刺(*Nitrariasphaerocarpa* Maxim),草地(Meadow),柽柳(*Tamarix* spp.),胡杨林(*Populuseuphratica*),沼泽(Swamp),湖泊(Lake),宜林地(Suitable land for forest),枸杞(*Lyciumchinense*),芦苇(*Phragmitesaustralis*),柳树(*salixbabylonica*),梭梭(*Haloxylonammodendron*),沙漠(Desert),等 12 类(图 2)。

2.3 MAXENT 模型的分析方法

2.3.1 MAXENT 模型的数据

物种分布点数据:将物种分布点的数据在 Excel 中保存为 MAXENT 软件可以识别的以逗号分隔的 CSV 数据格式,字段包括物种名称、经度和纬度。

生境变量数据:以 ArcGIS10.1 为平台,分别建立各种生境变量的栅格文件,将所有生境变量数据,包括气候因子(BIO1-BIO19)、地形因子(DEM)、植被类型在 ArcGIS10.1 软件下转换为 ASCII 格式,并且按照 MAXENT 软件要求将所有图层统一边界和坐标系统。

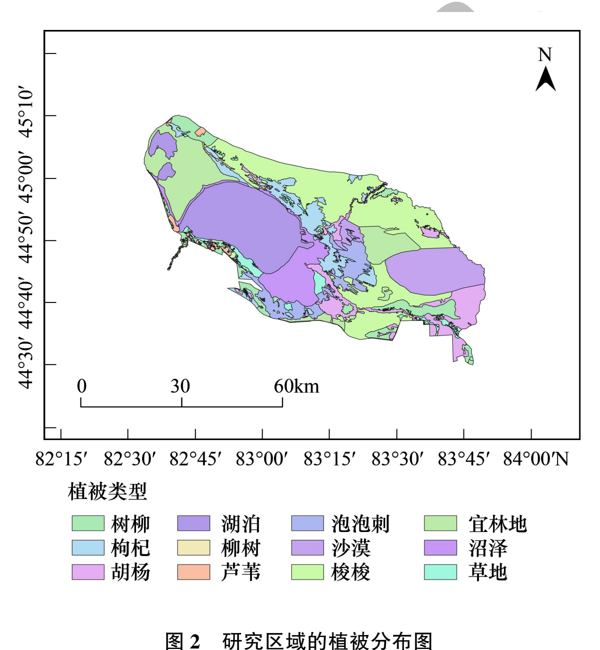


图 2 研究区域的植被分布图

Fig.2 Vegetation distribution map of the study area

2.3.2 影响马鹿潜在分布关键生境变量的筛选

MAXENT 模型预测中必须用到的数据有两个,分别是物种空间分布点的数据和生境变量数据,其中物种分布点的数据是必不可少的,而生境变量数据因为有多个变量,并不是每个变量对物种潜在分布预测都是必需的,因此需要剔除掉一些对 MAXENT 模型预测结果贡献较小的生境变量,只留下对模型预测结果贡献较大的关键限制因子,以提高模型的预测精度。在 MAXENT 模型中软件本身提供了实现这一步骤的模块,即刀切法(Jackknife 检验)测定变量的重要性,通过比较每个生境变量对模型结果的影响程度来来剔除影响较小的变量。

2.3.3 马鹿生境模型构建

将物种的分布点的数据和生境变量数据导入 MAXEN 模型中,随机选取 75%的分布点的数据用于建立模型,剩下 25%的分布点的数据用于模型检验,其余参数设为模型默认值,构建马鹿分布模型进行模拟,取 10 次模拟结果的平均值作为最终模拟结果[22]。

2.3.4 MAXENT 模型的检验方法

模型的检验采用受试者工作特征曲线,即 ROC 曲线(receiver operating characteristic curve),该方法最早用于雷达信号接受能力的评估[23],后被广泛用于评价医学诊断试验试验性能,ROC 曲线以假阴性率为横坐标,真阳性率为纵坐标,绘制而成,ROC 曲线下的面积即为 AUC 值(area under curve)[24]。AUC 值越大,表示生境变量与预测物种地理分布模型之间相关性越大,越能将该物种有分布和无分布判别开,预测效果也就越好[25-26]。评价标准为:AUC 值为 0.50—0.60,失败(fail);0.60—0.70,较差(poor);0.70—0.80,一般(fair);0.80—0.90,好(good);0.90—1.0,非常好(excellent)[27-28](图 3)。

3　结果与分析

3.1　MAXENT 预测结果检测

ROC 曲线评价结果显示:AUC 值为 0.976,表明 MAXENT 模型预测结果非常好。所建模型可用于艾比湖地区马鹿生境评价。

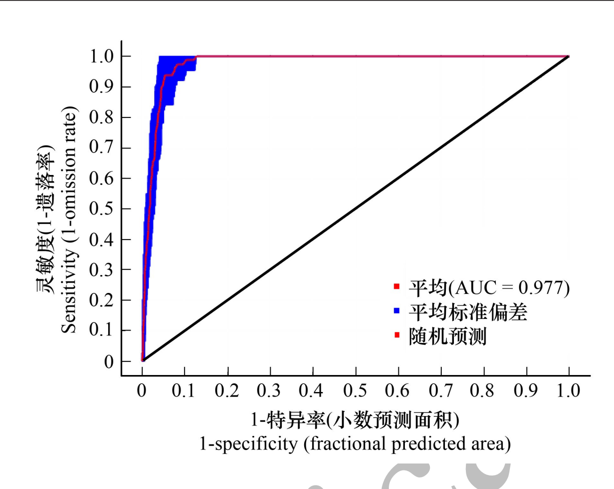


图 3　MAXENT 模型的 ROC 曲线及 AUC 面积

Fig.3　ROC Curve and AUC values of the MAXENT model

3.2　生境变量筛选结果

由图 4 刀切法测定生境变量的重要性中可以看出,植被类型、坡度对其分布影响最小,因此,在选择最优秀 MAXENT 预测模型时剔除这两个影响最小的因子来构建最优秀模型进行预测。

从图中可以看出最热月最高温度(BIO5)对艾比湖马鹿分布影响最大,其次是海拔、年降雨量(BIO12)、气温日较差(BIO2)、最热季平均温度(BIO10)、最冷月最低温度(BIO6)和最干季降水量(BIO17)。



3.3　各种生境变量对 MAXENT 模型预测的影响

图 5 列出了全部生境变量的反馈曲线,显示了每个生境变量对模型预测的影响。从图中可以看到,植被类型和坡度的变化对 MAXENT 模型预测的结果不明显,海拔、最热月最高温度(BIO5)、年降雨量(BIO12)、温日较差(BIO2)的变化对 MAXENT 模型预测的结果很明显,而其他变量的变化对模型预测的结果没有较大的影响。

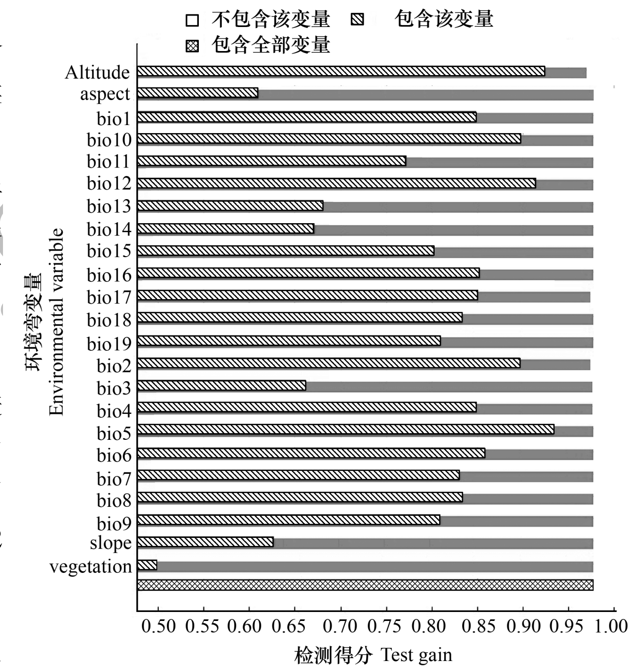


图 4　MAXENT 模型刀切法测定的各种生境变量的重要性

Fig.4　MAXENT Jackknife measuring of habitat variable importance

3.4　艾比湖马鹿生境适宜性分布

利用 MAXENT 模型对艾比湖马鹿的生境适宜性进行评价,将模型输出的 ASCII 文件导入到 ArcGIS10.1 中转换成浮点型栅格数据,按照专家经验法将生境适宜图重新分类 4 个适宜等级:0—0.05 为不适宜区,0.05—0.2 为低适宜区,0.2—0.5 为次适宜区,0.5—1 为高适宜区,最终得到艾比湖地区马鹿的生境适宜性分布图(图 6)

从图中可以看出,艾比湖马鹿的高适宜生境区主要分布在研究区域的北部,次适宜及低适宜生境区则分布于高适宜生境区的边缘,而不适宜生境区主要集中在西部和东部地区,其中适宜生境区和不适宜生境区占总面积的 9.4%和 90.6%。

4　讨论

生境评价模型目前可以分为 3 种类型:机理模型、回归模型和生态位模型。机理模型并不需要物种分布点数据,而是根据生境因子对物种分布的影响建立相应的评价准则,进而模拟得到物种的适宜性生境,但因其没有考虑生境的可达性,且在对因子划分等级及确定权重上存在主观性,因此具有一定局限性[4]。相比回归模型,生态位模型只需动物“出现点”的数据而不需要“未出现点”的数据,根据在艾比湖野外考察的实际经验,发现在某个地点未发现马鹿的踪迹并不代表马鹿未曾在此地出现过,因此记录的“出现点”的数据并非十

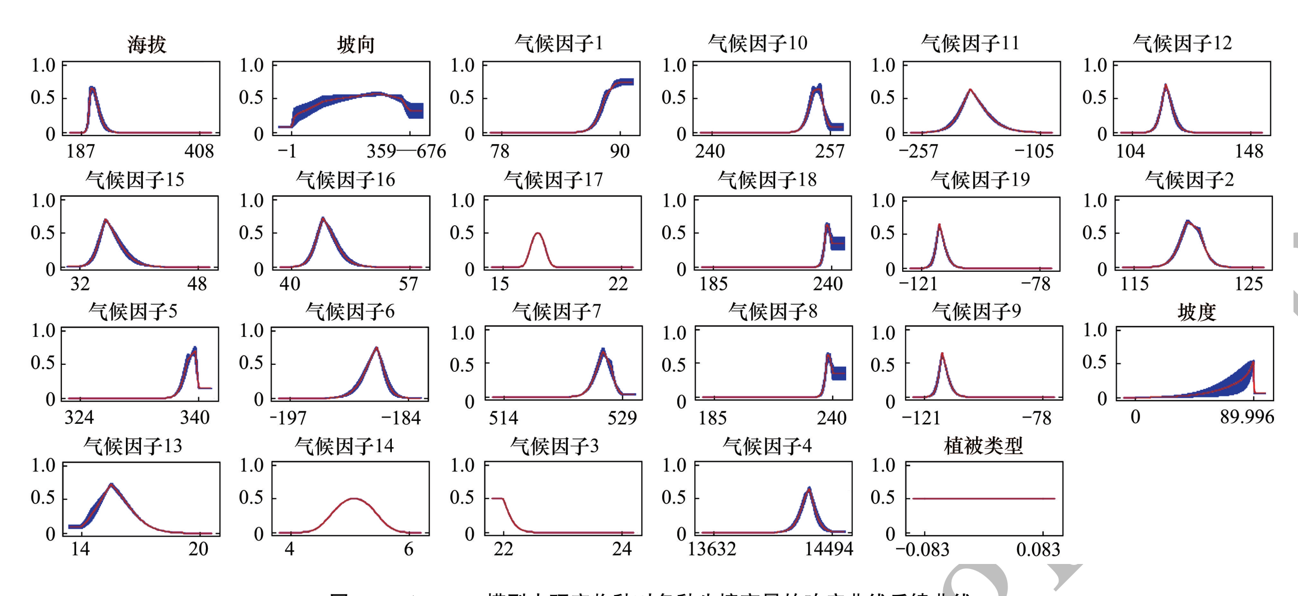


图 5 MAXENT 模型中研究物种对各种生境变量的响应曲线反馈曲线

Fig.5 Response curves of habitat variables in MAXENT models

分准确,此外,物种“出现点”数据的多少对模型预测结果也有很大影响,通常物种分布点的数据越多,模型预测结果越可靠,但该模型在“出现点”数据较少的情况下,也具有较高的预测精度,如 Silva 等[29]在研究蜥蜴的 1 个稀有种的潜在分布区时,仅仅利用 17 个分布点的信息构建模型,得到的模型精度达到 0.99,在获得少量分布点的信息情况下模型精度仍达到优秀水平。该方法避免了机理模型的主观性和回归模型的输入数据不易获取等缺点,更适用于分布点的信息匮乏的野生动物生境分布研究[30]。

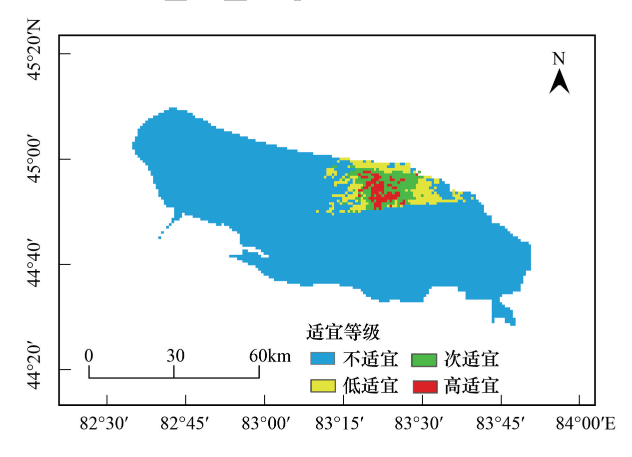


图 6 艾比湖马鹿生境分布

Fig.6 Habitats distribution of Cervuselaphus in the Ebinur Reserve

本研究基于 MAXENT 生态为模型,结合 ArcGIS10.1,以地形因子、植被类型和气候因子作为生境变量因子,与分布点的数据结合对新疆艾比湖国家级自然保护区里面的马鹿的生境进行评价,模型分析表明:最热月最高温度(BIO5)、年降雨量(BIO12)、气温日较差(BIO2)、最热季平均温度(BIO10)、最冷月最低温度(BIO6)和最干季降水量(BIO17)等气候因子对艾比湖马鹿的分布影响起重要的作用,在地形因子方面,海拔最为重要,其次是坡向。李言阔等[31]的研究结果也指出海拔和坡向是黑龙江省完达山地区马鹿生境分布的主要影响因子。本研究中坡度因子对马鹿生境分布的影响很小,主要是因为马鹿行动敏捷、活动范围较大,对坡度要求较低,同时,本研究区地势比较平缓,几乎没有坡度很大的地方。植被类型对艾比湖马鹿的生境分布没有太大的影响,主要原因是虽然把植被分为不同的几个类型,但是艾比湖国家级自然保护区里面大部分地区的植被类型是混交林,同一区域范围会有各种植被共存,这是导致植被类型对艾比湖马鹿生境分布没有明显的影响。

研究过程中没有加上水源因素,是因为艾比湖国家级自然保护区大部分区域总体上类似,以前的水源都不存在了,即艾比湖里面不同的区域离水源距离没有明显的差异,而且吴文等[32]利用 MAXENT 生态为模型对小兴安岭南麓马鹿冬季适宜生境进行研究,结果发现,水源对马鹿生境分布的影响很低,所以以艾比湖的实际情况出发本研究没有考虑了水源因素。

致谢:新疆博州艾比湖国家级自然保护区员工帮助采样,新疆大学资环与环境科学学院许仲林老师帮助软件使用、数据分析及讨论,新疆大学资环与环境科学学院阿不都拉·阿不力孜博士帮助写作,特此感谢。

参考文献(References):

[1] Wilson J W, Sexton J O, Jobe R T, Haddad N M. The relative contribution of terrain, land cover, and vegetation structure indices to species distribution models. Biological Conservation, 2013, 164: 170-176.

[2] 王金亮, 陈姚. 3S 技术在野生动物生境研究中的应用. 地理与地理信息科学, 2004, 20(6): 44-47.

[3] 王秀磊. 普氏原羚生境的景观动态与适宜性评价研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2004.

[4] 刘振生, 高惠, 滕丽微, 苏云, 王晓勤, 孔芳毅. 基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价. 生态学报, 2013, 33(22): 7243-7249.

[5] 吴建平. 哺乳动物分类讲义. 哈尔滨: 东北林业大学, 2005:120-133.

[6] 盛和林.中国鹿类动物. 上海: 华东师范大学出版社, 1992.

[7] 许庆翔, 张明海, 路秉信. 黑龙江省野生马鹿种群资源调查研究. 经济动物学报, 2004, 4(1): 57-62.

[8] 高行宜,姚军. 北天山喀拉乌成山的马鹿资源调查. 地方病通报, 2007, 22(2): 6-8.

[9] 艾尼瓦尔·吐米尔, 马合木提·哈力克. 塔里木河中游塔里木马鹿种群数量及其栖息地现状的初步分析. 新疆农业科学, 2008, 45(4): 743-749.

[10] 张显理, 李志刚, 李正, 马勇玺, 张铁师, 翟浩. 宁夏贺兰山马鹿春季种群数量与种群动态研究. 宁夏大学学报: 自然科学版, 2006, 27(3): 263-265.

[11] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 谭迎春, 张和民.卧龙自然保护区大熊猫生境评价. 生态学报, 2001, 21(11): 1869-1874.

[12] 邢丁亮, 郝占庆. 最大熵原理及其在生态学研究中的应用. 生物多样性, 2011, 19(3): 295-302.

[13] De Castro Pena J C, Kamino L H Y, Rodrigues M, Mariano-Neto E, De Siqueira M F. Assessing the conservation status of species with limited available data and disjunct distribution.Biological Conservation, 2014, 170: 130-136.

[14] 齐增湘, 徐卫华, 熊兴耀, 欧阳志云, 郑华, 甘德欣. 基于 MAXENT 模型的秦岭山系黑熊潜在生境评价. 生物多样性, 2011, 19(3): 343-352.

[15] 徐卫华, 罗翀. MAXENT 模型在秦岭川金丝猴生境评价中的应用. 森林工程, 2010, 26(2): 1-3, 26-26.

[16] 陈蜀江, 侯平, 李文华, 李虎. 新疆艾比湖湿地自然保护区综合科学考察. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2006.

[17] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 2006, 190(3/4): 231-259.

[18] 罗翀, 徐卫华, 周志翔, 欧阳志云, 张路. 基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测. 生态学报, 2011, 31(5): 1221-1229.

[19] Stachura-SkierczyńskaK, Tumiel T, SkierczyńskiM. Habitat prediction model for three-toed woodpecker and its implications for the conservation of biologically valuable forests. Forest Ecology and Management, 2009, 258(5): 697-703.

[20] Haegeman B, Etienne R S. Entropy maximization and the spatial distribution of species. The American Naturalist, 2010, 175(4): E74-E90.

[21] 李明阳, 巨云为, Kumar S, Stohlgren T J. 美国大陆外来入侵物种斑马纹贻贝(*Dreissenapolymorpha*)潜在生境预测模型. 生态学报, 2008, 28(9): 4253-4258.

[22] Behdarvand N, Kaboli M, Ahmadi M, Nourani E, Mahini A S, Aghbolaghi M A. Spatial risk model and mitigation implications for wolf - human conflict in a highly modified agroecosystem in western Iran. Biological Conservation, 2014, 177: 156-164.

[23] Leshowitz B. Comparison of ROC *Curves* from one-and two-interval rating-scale procedures. The Journal of the Acoustical Society of America, 1969, 46(2B): 399-402.

[24] 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 肖启明, 戴良英. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用. 生物多样性, 2007, 15(4): 365-372.

[25] 侯宁, 戴强, 冉江洪, 焦迎迎, 程勇, 赵成. 大相岭山系泥巴山大熊猫生境廊道设计. 应用与环境生物学报, 2014, 20(6): 1039-1045.

[26] Catry F X, Rego F C, BaçãoF L, Moreira F. Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal. International Journal of Wildland Fire, 2009, 18(8): 921-931.

[27] Swets J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 1998, 240(4857): 1285-1293.

[28] Araújo M B, Pearson R G, Thuiller W, Erhard M. Validation of species-climate impact models under climate change. Global Change Biology, 2005, 11(9): 1504-1513.

[29] De Novaes e Silva V, Pressey R L, Machado R B, VanDerWal J, Wiederhecker H C,Werneck F P, Colli G R. Formulating conservation targets for a gap analysis of endemic lizards in a biodiversity hotspot. Biological Conservation, 2014, 180: 1-10.

[30] 陈新美, 雷渊才, 张雄清, 贾宏炎. 样本量对 MaxEnt 模型预测物种分布精度和稳定性的影响. 林业科学, 2012, 48(1): 53-59.

[31] 李言阔, 张明海, 蒋志刚. 基于生境可获得性的完达山地区马鹿(*Cervuselaphusxanthopygus*)冬季生境选择. 生态学报, 2008, 28(10): 4619-4628.

[32] 吴文, 李月辉, 胡远满, 陈龙, 李悦, 李泽鸣, 聂志文, 陈探. 小兴安岭南麓马鹿冬季适宜生境评价. 生物多样性, 2016, 24(1): 20-29.